

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

**INVERKAN AV MARKLUTNINGAR PÅ
MASSFLÖDE OCH SPRIDNINGSBILD HOS
KAST- OCH FALLSPRIDARE FÖR KONSTGÖDSEL**

Jan E.T. Svensson

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

Rapport 178

Report

Uppsala 1994

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R--178--SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLUs lantbruksdatabas LANTDOK,
Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Lantbruksteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1994	Målgrupp F, R
Författare/upphov Jan E.T. Svensson			
Dokumentets titel Inverkan av marklutningar på massflöde och spridningsbild hos kast- och fallspridare för konstgödsel			
Ämnesord (svenska och /eller engelska) Konstgödselspridning Lutningar Spridningsbild Massflöde			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för lantbruksteknik Rapportserie Rapport 178			ISBN/ISRN SLU-LT-R--178--SE ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Smf-språk Svenska	Omfång 21 s	Antal ref. 23

Postadress

Besöksadress

Telefonnummer

Telefax

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Ultunabiblioteket, Förvärvsavdelningen/LANTDOK
Box 7071
S- 750 07 UPPSALA

Centrala Ultuna 22
Uppsala

018-67 10 00 vx
018-671103

018-3010 06

Innehåll

1 SAMMANFATTNING	1
2 BAKGRUND	2
3 TIDIGARE ARBETEN	3
4 MATERIAL OCH METODER	4
4.1 Lutningstyper	5
4.2 Metod för uppsamling av konstgödsel	5
4.3 Mätnoggrannhet	6
4.4 Utvärdering	7
4.5 Försök med fallspridare	8
4.6 Försök med kastspridare	8
5 RESULTAT	9
5.1 Försök med fallspridare	9
5.2 Försök med kastspridare	10
6 DISKUSSION	14
6.1 Försök med fallspridare	14
6.2 Försök med kastspridare	15
6.3 Provningar och typgodkännandeförfarande	18
7 SLUTSATSER	19
8 REFERENSER	19

1 SAMMANFATTNING

Föreliggande arbete utgör redovisningen av två delprojekt inom ramen för en utredning av möjligheterna att införa ett typgodkännandeförfarande för konst- och stallgödselspridare. Utredningen har av riksdagen uppdragits åt Statens jordbruksverk, som delegerat uppgiften till Statens maskinprovningar, Jordbrukstekniska Institutet och Institutionen för lantbruksteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet.

I detta arbete har inverkan av lutningar på massflöden och spridningsbilder från en kast- och två fallspridare undersökts. Försöken har utförts i Alnarp av Statens maskinprovningar och i Uppsala av Inst. för lantbruksteknik. Alla försök har utförts utomhus.

Tre typfall av lutningar undersöktes:

1. Horisontell spridare på horisontellt underlag (typfall 1).
2. Lutande spridare på lutande underlag (spridare och underlag parallella, typfall 2)
3. Lutande spridare på horisontellt underlag (typfall 3).

Resultaten av försöken utvärderades framför allt genom att medelgivor, standardavvikelser, variationskoefficienter och sidoförhållanden beräknades.

Fallspridarens spridningsbild påverkades i begränsad omfattning av lutningar på 5°. Variationskoefficienten steg från 4,9% (typfall 1) till 5,9% (typfall 2) resp. 6,6% (typfall 3).

Utifrån spridningsbilden kunde ett visst lutningsberoende hos fallspridarens utmatning spåras. En beräkning av massflödena från respektive bomhalva, det vill säga från vänster resp. höger mataraxel, baserad på den uppsamlade materialmängden, resulterade i ett lutningsberoende för massflödet på 0,4% per grad lutning.

Kastspridarförsöken visade på en nivåskillnad i mätresultaten som funktion av försöksort. Alnarpsresultaten skiljer sig också markant från inomhusmätningar med samma maskin. Därför är dessa resultat något osäkra.

Massflödesförändringarna hos kastspridaren beräknades till 0,9% per grad lutning. Variationskoefficienten steg från 18,1% (typfall 1) till 20,1% vid lutning 3,8° (typfall 2).

Resultatet av detta projekt visar att lutningar inverkar på massflödet från kast- och fallspridare. Inverkan på spridningsbilden vid lutningar av typfall 2 är begränsad, vilket stöder teoretiska beräkningar av Loftäng (1993). Inverkan av lutningar av typfall 3 är något högre än för typfall 2.

Av detta arbete kan följande slutsatser dras:

1. Spridningsbilden för lutande spridare bör mätas i ett typgodkännandeförfarande.
2. Utvärderingen bör ske i form av variationskoefficient och sidoförhållande.
3. Kravnivåerna bör omfatta både en absolut nivå samt den förändring i precision som lutande spridare (typfall 3) undergår jämfört med en horisontell spridare (typfall 0). Anledningen till den relativa kravnivån är att kunna upptäcka spridare som får väsentligt försämrade spridningsprecision i något typfall

2 BAKGRUND

Läckage av näringsämnen till omgivande mark och vatten är ett problem i dagens samhälle. En del av detta läckage kan hänföras till jordbrukets tillförsel av växtnäringsämnen till jorden. Växtnäringsläckage riskerar att uppstå vid exempelvis överdosering, ojämn spridning, fel spridningstidpunkt eller ovarsamt körsätt.

Enligt en av Statens jordbruksverk (SJV) genomförd utredning (TYP 90) skulle växtnäringsläckaget kunna minskas genom att införa typgodkännande av stall- och konstgödselspridare. TYP 90 påpekade dock att stora kunskapsluckor återstod att täppa till innan ett typgodkännandeförfarande kunde bli verklighet.

Som en följd av TYP 90 har riksdagen gett SJV i uppdrag utreda möjligheterna till att införa ett typgodkännandeförfarande för konst- och stallgödselspridare (TYP 93).

Föreliggande arbete är en redovisning av två projekt inom ramen för TYP 93:

1. Inverkan av marklutningar på massflödet från konstgödselspridare.
2. Inverkan av marklutningar på spridningsbilden från konstgödselspridare.

Effekterna av lutningarnas inverkan på arbetsresultatet har prioriterats vid arbetet inom respektive projekt.

Projekten är samarbetsprojekt mellan Institutionen för lantbruksteknik (LT) och Statens maskinprovningar i Alnarp (SMP).

Målen med projekten är:

1. att finna inverkan av lutningar på spridningsbild och massflöde hos kast- och fallspridare
2. att utveckla en provningsmetod vilken skall kunna användas inom ramen för ett typgodkännandeförfarande
3. att validera provningsmetoden

Arbetena av Bodén (1994) och Loftäng (1993) ingår som delar av ovanstående projekt.

3 TIDIGARE ARBETEN

Inverkan av lutningar på framför allt massflöden har undersökts i tidigare forskningsarbeten. Bull & Crowe (1985) anser att, beroende på maskinkonstruktion, kan behållarens lutning påverka utmatningen på olika sätt.

Resultat av provningar utförda vid Statens maskinprovningar visar att massflödet från knastvalsutmatningar påverkas med 2-7% vid en lutning på 10° (SMP-medd 3024, 3074, 3075, 3118). Ett ytterligare studium av SMPs provningar tyder på att massflödesförändringarna hos knastvalsen vid lutning beror av åt vilket håll valsen lutar runt sin axel (Svensson 1990a)

Beroendet av lutningsriktningen fastställdes av Svensson i laboratorieförsök (Svensson, 1990b, 1992). Svensson fann att massflödet från en knastvals i hög grad kunde förklaras genom empiriska modeller där varvtal, knasthöjd, bottenklaffinställning, d_{50}^1 och lutning ingick som oberoende variabler. Massflödet förändrade sig linjärt inom det provade området med 0,8% per grad lutning för en normalinställning.

Rühle (1975) fann inverkan av lutningar på spridningsbilden hos fallspridare med knastvalsutmatning samt med centralt placerad injektorutmatning. Vad det gäller knastvalsmaskinen kan resultatet vara en effekt av provningsmetoden.

Injektormaskinen påverkades dock av lutningar både parallellt med och vinkelrätt mot körriktningen.

Weiste (1988) redovisar i sin redogörelse över ett nytt spridarorgan för fallspridare ett lutningsberoende hos spridningsbilden. När spridarbommen lutades 4° relativt marken i Weiste's försök steg variationskoefficienten för spridningsbilden från 8% till 23,6%.

Massflödet från kastspridare som funktion av lutning är sparsamt undersökt i litteraturen. Som komplettering av sin litteratur på området genomförde Loftäng (1993) informellt experiment. Loftäng (1993) mätte massflödet som funktion av lutning från den trätt som beskrivs av ISO 3944 (1980). Att denna trätt företer vissa likheter med en gravimetrisk utmatning har visats i försök vid Statens maskinprovningar (SMP-medd 3249). Loftängs begränsade experiment tydde dock inte på att ett gravitationsberoende flöde är lutningsberoende för lutningar under 10°.

Bodén (1993) lanserar i sitt arbete hypotesen att lutningar trots allt bör påverka massflödet från gravimetriska utmatningar. Bodén (1993) menar att lutningar förändrar utloppshålets form. Att öppningens form påverkar utmatningen har bl. a. visats av Beverloo et al. (1960). I sitt fortsatta arbete fann Bodén (1993) ett lutningsberoende på 0,2-0,7% per grad lutning hos de två kastspridare som provades.

¹ Nominell maskstorlek genom vilken 50% av provets massa passerar i en siktningsanalys.

Spridningsbildsförändringar som funktion av lutningar hos kastspridare har sysselsatt ett flertal forskare. Ett flertal teorier för partikelbanor som funktion av granulatets fysikaliska egenskaper och omgivningsfaktorer redovisas av Loftäng (1993). Vad det gäller praktiska försök refererar Loftäng (1993) ett experiment av Patterson (1964). De tre provade kastspridarna kastade merparten av materialet uppför sidlutningen. Patterson (1964) kunde inte förklara detta fenomen, men antog att det berodde på en lutningsinducerad sidoförflyttning av nedsläppspunkten.

Bodén (1993) vidareutvecklade i sitt arbete en av Patterson och Reece (1962) presenterad teorimodell för kornets rörelse på spridartallriken. Bodéns (1993) modell kunde inte ge spridningsbilder vilka hade hög överensstämmelse med verkligheten. Dock reagerade modellen i stora drag på samma sätt som centrifugalspridare i provning. Genom att simulera olika kastparabler i sin modell fann Bodén (1993) att kastspridare påverkas av lutningar, speciellt i sidled. Vid simuleringarna undersöktes effekter av lutningar parallellt med markplanet och relativt markplanet. Effekterna av lutningen avtog något då spridaren var parallell med markplanet. Bodén (1993) undersökte också med hjälp av simuleringssmodellen inverkan av behållarlutning respektive tallrikslutning separat. Slutsatsen var att lutningseffekterna främst härrörde från tallrikens lutning, ej från utloppshålets formförändring relativt horisontalplanet.

Arbeten av Kvapil (1959) och Kohsiek (1970;1968) i kombination med litteraturgenomgången av Nedderman et al. (1982) pekar också på att massflöden ut ur en behållare kan påverkas om lutningen är så stor att behållarväggarna påverkar det område där materialet rör sig. Vad det gäller teoretiskt stringenta beskrivningar av granulära massflöden återstår dock mycket arbete (Nedderman et al., 1982; Tüzün et al., 1982; Savage et al., 1983).

Av tidigare arbeten kan följande slutsatser dras:

- * Massflödet som funktion av lutningar hos fallspridare med knastvalsutmatning är väl utrett under laboratoriemässiga förhållanden samt till viss del även i provningar.
- * Spridningsbilden från fallspridare behöver undersökas ytterligare. De mätningar som gjorts gäller företrädesvis när spridaren lutar relativt marken.
- * Spridningsbilder från kastspridare vilka lutar parallellt med marken behöver utredas ytterligare.

4 MATERIAL OCH METODER

I detta arbete har ett flertal spridningsbilder för lutande spridare uppmätts. Mätningarna har utförts på en fallspridare med pneumatiskt transportsystem (TIVE 812 GD) samt två kastspridare (Bogballe D-600 och E-1000).

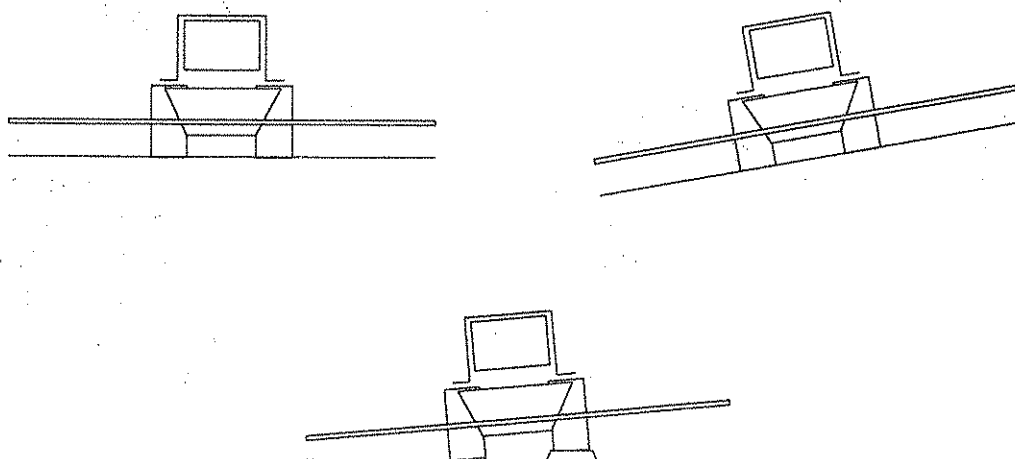
Spridningsbilder har uppmätts dels i Uppsala, dels i Alnarp. Mätningarna har, med tanke på projektmålen, varit anpassade till normala provningsförfaranden. Då metoderna varierat något, redovisas nedan provningsuppställningarna var för sig.

4.1 Lutningstyper

Inom arbetet har endast sidolutningar provats. Anledningen till detta är att lutningar parallellt med kördraget finns redovisade av ett flertal litteraturreferenser, och i samtliga fall har denna typ av lutning mindre inverkan på spridningsbilden än sidolutningar. Tre typfall av lutningar har provats:

1. Horisontell spridare på horisontellt underlag.
2. Lutande spridare på lutande underlag (spridare och underlag parallella)
3. Lutande spridare på horisontellt underlag.

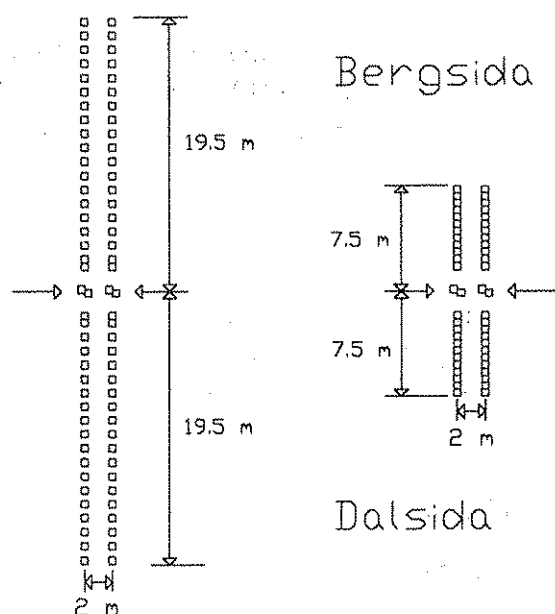
Observera att uppsamlingskärnen står på underlaget och kärnraderna har därmed samma lutning som underlaget. De tre olika typlutningarna framgår av figur 1.



Figur 1. De tre olika undersökta lutningsfallen. Vänster, uppe: typfall 1, horisontell spridare på horisontellt underlag. Höger, uppe: typfall 2, lutande spridare på lutande underlag. Nere: typfall 3, lutande spridare på horisontellt underlag.

4.2 Metod för uppsamling av konstgödsel

Två typer av uppsamlingsmetoder har använts vid försöken. Båda metoderna bygger på körprov med uppsamlingskärl typ "Hydrobackar". En Hydroback utgörs av ett kvadratisk plastkärl med sidorna 0,5 m. I kärnen placeras ett raster vilket skall hindra granulatet från att studsas ut ur kärlet.



Figur 2. Placering av uppsamlingskärl. Vänster: uppställning vid provning av kastspridare. Höger: uppställning vid provning av fallspridare. De horisontella pilarna anger körriktningar genom uppställningarna.

Vid provning av kastspridare placerades kärlen i enlighet med instruktionerna från Norsk Hydro, det vill säga ett kärl per meter bredd tvärs körriktningen. Vid provning av fallspridare förtätades kärlen till en sammanhängande rad, det vill säga ett c/c-avstånd på 0,5 m. I båda fallen gjordes plats för traktorns hjul genom att lämna en lucka på 1,5 m på var sida om mittlinjen. Två, alternativt tre, rader med uppsamlingskärl, med ett inbördes avstånd av ca 2 m, användes vid varje prov. Uppställningen kördes igenom från båda hållen, med mellanliggande mätning av materialmängderna. De båda konfigurationerna framgår av figur 2.

4.3 Mätnoggrannhet

I samtliga Uppsala försök, utförda av Inst. för lantbruksteknik, har volymen av det uppsamlade materialet uppmätts i graderade provrör. Resultaten är med andra ord baserade på uppsamlade volymer och inte vikter. I samtliga fall har dock totalvikten av det uppsamlade materialet från varje spridningsbild vägts vid återkomsten till institutionen.

I syfte att undersöka precisionen hos volymmätningen, placerades det uppsamlade materialet från varje enskilt uppsamlingskärl från fyra spridningsbilder i separata provburkar. Provburkarnas innehåll vägdes vid återkomsten till institutionen.

För varje spridningsbild beräknades en medelvolym och en medelvikt per uppsamlingskärl. Därefter beräknades skillnaden mellan individuell volym och

medelvolum för varje uppsamlingskärl. Från denna differens subtraherades skillnaden mellan individuell vikt och medelvikt för samma kärl. Beräkningen kan sammanfattas enligt formeln

$$\Delta = \left(\frac{V_i}{\bar{V}} - \frac{mg_i}{\overline{mg}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

där

Δ = avvikelse (%)

V_i = uppmätt volym ur uppsamlingskärl nr i

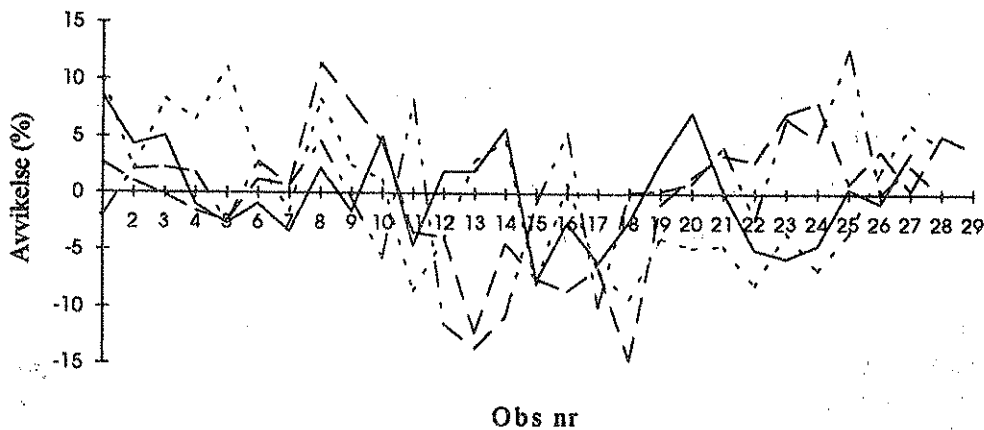
\bar{V} = medelvolumen baserad på samtliga kärl

mg_i = vägd vikt ur uppsamlingskärl nr i

\overline{mg} = medelvikten baserad på samtliga uppsamlingskärl

Medelavvikelsen var ej signifikant skild från noll i någon av de fyra spridningsbilderna. Variationskoefficienten uppgick som mest till 6%. Exempel på individuella avvikelser mellan vikts- och volymmätningar framgår av figur 3.

I Alnarpsförsöken, utförda av Statens maskinprovningar, har allt uppsamlat material vägts individuellt.



Figur 3. Exempel på avvikelser mellan individuella volymer och vikter från medelvolymer respektive medelvikter.

4.4 Utvärdering

För samtliga försök beräknades medelgiva, standardavvikelse och variationskoefficient för bästa arbetsbredd samt för 12 m arbetsbredd. Med bästa arbetsbredd avses den arbetsbredd som gav lägst variationskoefficient.

I Uppsalaförsöken, vilka baserats på volymmätningar, beräknades vikten via en omräkningsfaktor mellan volym och vikt baserad på utvärderingen presenterad under "4.3 MÄTNOGGRANNHET". Detta innebär att medelgiva, standardavvikelse och variationskoefficient är baserade på omräkningar från volym till vikt.

I syfte att få tydliga utslag av förväntade lutningseffekter, beräknades ett sidoförhållande i enlighet med ekv (2).

$$S = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100 \quad (2)$$

där

- S = sidoförhållandet (%)
 m_1 = mängd material på bergsidan
 m_2 = mängd material på dalsidan

I Uppsalaförsöken kunde dessutom beräkningen av sidoförhållandet användas till att söka effekter av asymmetriska spridningsbilder, det vill säga om det hade betydelse från vilket håll spridaren kördes genom försöksuppställningen.

Spridningsbildens form redovisades som spridningsbilder i diagramform. Dessutom framställdes summakurvor vid överlappande spridningsbilder.

4.5 Försök med fallspridare

Fallspridaren (Tive 812 GD) provades på fält tillhörande Ultuna Egendom, Uppsala. Undersökta lutningar var:

1. Spridarlutning: 0°. Marklutning: 0° (typfall 1).
2. Spridarlutning: 5°. Marklutning: 5° (typfall 2).
3. Spridarlutning: 5°. Marklutning: 0° (typfall 3).

I samtliga tre försök placerades uppsamlingskärnen vinkelrätt mot körriktningen i två parallella rader med ett mellanrum på 2 m. Fallspridaren kördes igenom denna uppställning en gång från varje håll för varje typfall av lutning. Totalt uppmättes alltså 12 spridningsbilder. Körhastigheten var 2,7 km/h. Gödselmedlet utgjordes av PK 7-25 från Norsk Hydro.

4.6 Försök med kastspridare

Kastspridare provades dels i Alnarp av Statens maskinprovningar, dels i Uppsala av Inst. för lantbruksteknik. I samtliga fall genomfördes försöken i fält.

I Alnarp genomfördes försöken med en Bogballe E-1000. Undersökta lutningar var:

1. Spridarlutning: 0°. Marklutning: 0° (typfall 1).
2. Spridarlutning: 3,8°. Marklutning: 3,8° (typfall 2).

I båda försöken placerades uppsamlingskärlen vinkelrätt mot körriktningen i tre parallella rader med ett mellanrum på 2 m. Totalt uppmättes alltså sex spridningsbilder. Kastspridaren kördes igenom denna uppställning två gånger före uppsamling och vägning. Körhastigheten var ca 2,5 km/h. Gödselmedlet utgjordes av PK 7-25 från Norsk Hydro.

I Uppsala genomfördes försöken med en Bogballe D 600. Här undersöktes endast 5° spridarlutning vid 5° marklutning (typfall 2).

I detta försök placerades uppsamlingskärlen vinkelrätt mot körriktningen i två parallella rader med ett mellanrum på 2 m. Kastspridaren kördes igenom denna uppställning en gång från varje håll. Totalt uppmättes alltså fyra spridningsbilder. Körhastigheten var 2,5 km/h. Gödselmedlet utgjordes av PK 7-25 från Norsk Hydro.

5 RESULTAT

5.1 Försök med fallspridare

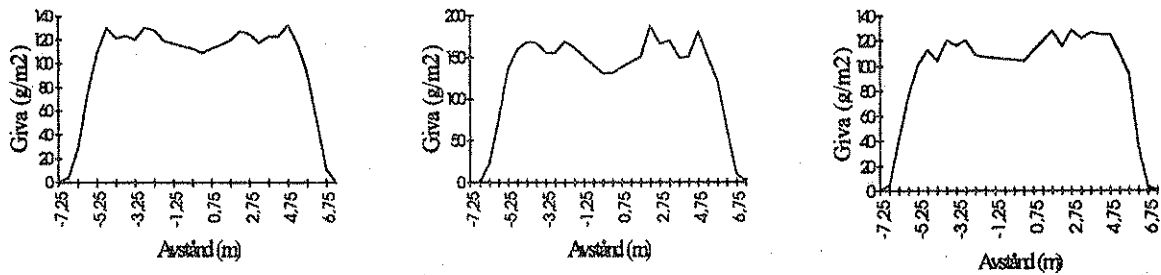
Fallspridaren befanns vara måttligt känslig för lutningar. Bästa arbetsbredd var 12 m i samtliga tre lutningsfall. Resultaten av den deskriptiva statistiska utvärderingen framgår av tabell 1.

Tabell 1. *Resultatsammanfattning av försöket med fallspridare (Tive 812 GD)*

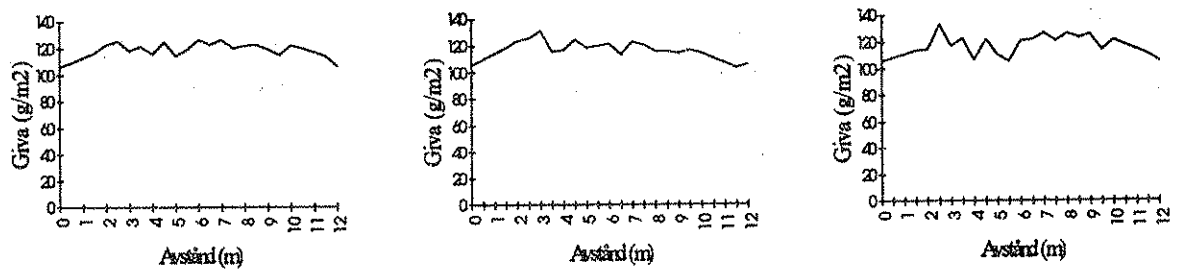
Lutning	0° (typfall 1)	5° (typfall 2)	5° (typfall 3)
Arbetsbredd (m)	12	12	12
Medelgiva ¹ (g/m ²)	118,4	116,3	116,8
Standardavvikelse ¹ (g/m ²)	5,8	6,9	7,6
Variationskoefficient ¹ (%)	4,9	5,9	6,6
Sidoförhållande ³ (%)	49,3	48,3	50,8
Korrigerad hektargiva ² (kg/ha)	400	392	393

- 1) Resultatet baserat på den ur uppmätta volymer beräknade vikten.
- 2) Uppmätt flöde omräknat till hektargiva vid en hastighet på 8 km/h.
- 3) Resultatet baserat på den uppmätta volymen.
- 4) Detta från trenden avvikande värde behandlas under "DISKUSSION".

Bästa arbetsbredd, det vill säga den arbetsbredd som gav lägst variationskoefficient, var i samtliga fall 12 m. Exempel på spridningsbilder ges i figur 4 och sammanlagda spridningsbilder i figur 5.



Figur 4. Exempel på spridningsbilder från försöken med fallspridare Tive 812 GD. Vänster: lutning 0° (typfall 1). Mitt: lutning 5° parallellt med underlaget (typfall 2). Höger: lutning 5° relativt underlaget (typfall 3).



Figur 5. Exempel på sammanlagda spridningsbilder från försöken med fallspridare Tive 812 GD. Vänster: lutning 0° (typfall 1). Mitt: lutning 5° parallellt med underlaget (typfall 2). Höger: lutning 5° relativt underlaget (typfall 3).

5.2 Försök med kastspridare

Vid Alnarpsförsöken undersöktes inverkan av lutningar parallellt med underlaget. Resultaten sammanfattas i tabell 2. I tabellen redovisas genomsnittsvärden av de tre upprepningarna för varje typfall.

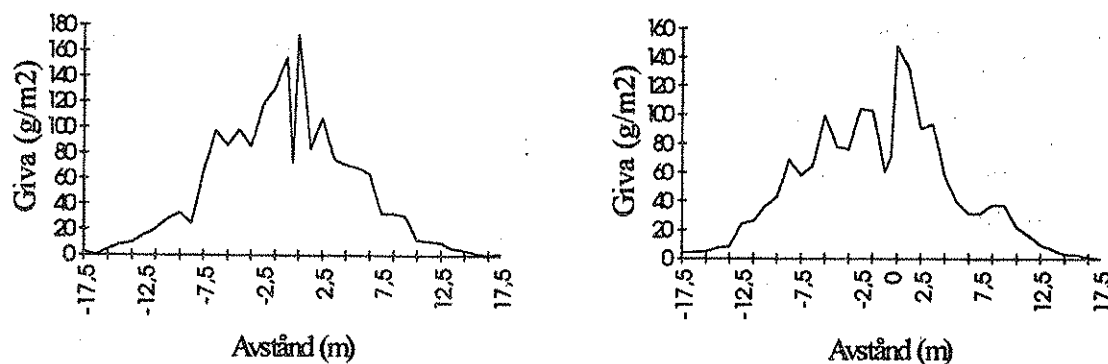
Tabell 2. Resultatsammanfattning för 12 m arbetsbredd av försöket med kastspridare i Alnarp (Bogballe E-1000). Observera att uppgift om medelgivan i proven ej redovisats från dessa försök

Lutning	0° (typfall 1)	3.8° (typfall 2)
Arbetsbredd (m)	12	12
Medelgiva (g/m ²)	Ingen uppgift	Ingen uppgift
Korrigerad hektargiva ¹ (kg/ha)	225	171
Standardavvikelse ² (kg/ha)	42.5	34.9
Variationskoefficient ¹ (%)	18.9	20.1
Sidoförhållande ¹ (%)	53.8	51.9

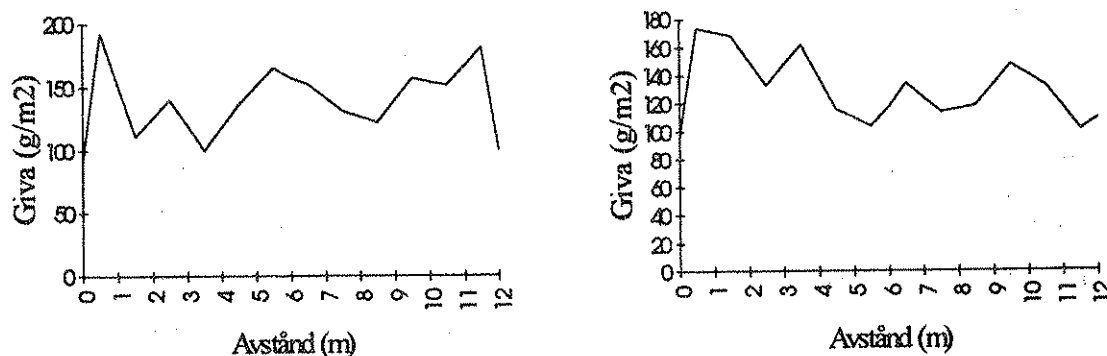
1) Resultatet baserat på uppsamlad vikt.

2) Uppsamlat material omräknat till hektargiva vid en hastighet på 8 km/h.

Exempel på spridningsbilder ges i figur 6 och sammanlagda spridningsbilder i figur 7.



Figur 6. Exempel på spridningsbilder från försöken med kastspridare Bogballe E-1000. Vänster: lutning 0° (typfall 1). Höger: lutning 5° parallellt med underlaget (typfall 2).



Figur 7. Exempel på sammanlagda spridningsbilder från försöken med kastspridare Bogballe E-1000. Vänster: lutning 0° (typfall 1). Höger: lutning 5° parallellt med underlaget (typfall 2).

Bästa arbetsbredd varierade något mellan spridningsbilderna. För de individuella spridningsbilderna varierade bästa arbetsbredd mellan 8,0 och 10,0 m. Variationskoefficienten sjönk då från genomsnittliga 18,9% (0° , typfall 1) respektive 20,1% ($3,8^\circ$, typfall 2) till 13,3% respektive 12,1%.

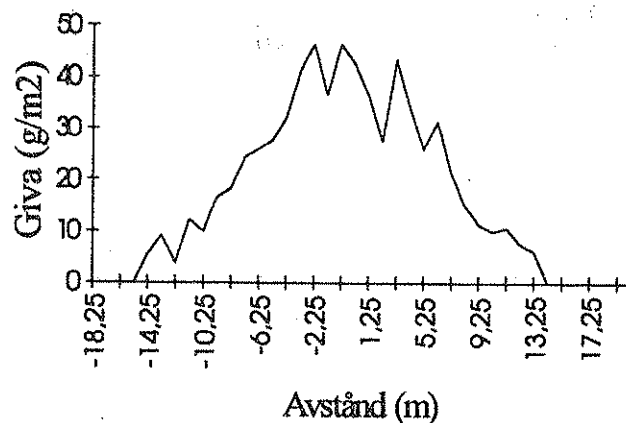
Uppsalaförsöken med en Bogballe D 600 sammanfattas i tabell 3.

Tabell 3. Resultatsammanfattning för 12 m arbetsbredd av försöket med kastspridare i Uppsala (Bogballe D 600)

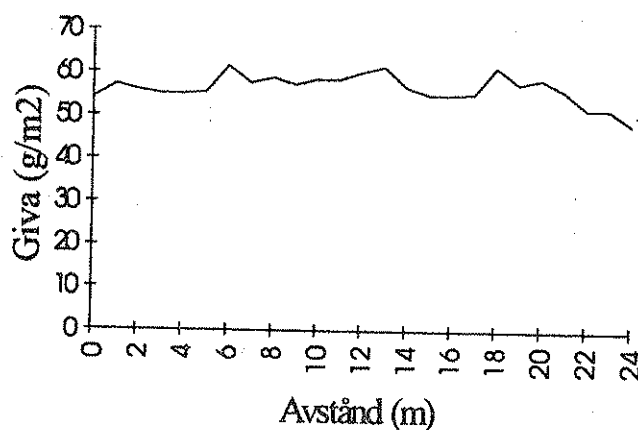
Lutning	5° (typfall 2)
Arbetsbredd (m)	12
Korrigerad hektargiva ¹ (kg/ha)	190.7
Standardavvikelse ² (g/m ²)	3.2
Variationskoefficient ¹ (%)	5.6
Sidoförhållande ³ (%)	51.5
Medelgiva (g/m ²)	56.5

- 1) Resultatet baserat på den ur uppsamlade volymer beräknade vikten.
- 2) Uppmätt flöde omräknat till hektargiva vid en hastighet på 8 km/h.
- 3) Resultatet baserat på den uppmätta volymen.

Exempel på spridningsbilder ges i figur 8 och sammanlagda spridningsbilder i figur 9.



Figur 8. Exempel på spridningsbild från försöken med kastspridare Bogballe D 600. Lutning: 5° parallellt med underlaget (typfall 2).



Figur 9. Exempel på sammanlagd spridningsbild från försöken med kastspridare Bogballe D 600. Lutning: 5° parallellt med underlaget (typfall 2).

Bästa arbetsbredd för Bogballe D 600 vid en lutning av 5° parallellt med underlaget befanns vara 13 m. Variationskoefficienten sjönk då från 5,6% till 5,0%.

I Bodéns (1993) arbete uppmättes Bogballe E-1000 spridaren med samma gödselmedel vid 0° (typfall 1), 3° och 5° (typfall 3) lutning relativt marken. I detta fall befanns inverkan av lutning vara något tydligare med en variationskoefficient på 6,8% (0°), 6,7% (3°) och 8,1% (5°).

6 DISKUSSION

Generellt kan sägas att materialet är för begränsat för mer avancerade statistiska analyser. Dessutom kan konstateras en skillnad i nivå mellan försöken i Uppsala och de i Alnarp.

6.1 Försök med fallspridare

Fallspridaren provades med 0° och 5° lutning i de tre typfallen. Då antalet kvalitativa observationer är begränsade, kan en avancerad statistisk bearbetning ej genomföras. Likväl kan ett flertal intressanta observationer göras utifrån resultaten.

Med ledning av resultaten i tabell 1 förefaller det som om både variationskoefficient och sidoförhållande påverkas av lutningar, om än i begränsad omfattning.

Materialmängden minskade på den ramhalva som lyfts från 49,3% av totalt flöde vid 0° lutning (typfall 1) till 48,3% (typfall 2) vid en lutning av 5°. Omräknat till massflödesförändring per grad lutning innebär detta 0,4% per grad för typfall 2. Vid en giva på 500 kg/ha innebär detta beteende hos spridaren en stegvis variation av massflödet motsvarande 20 kg/ha vid körning drag vid drag i en lutning på 5° (typfall 2).

Detta resultat stämmer väl överens med de av SMP redovisade lutningseffekterna (SMP-medd 3024, 3074, 3075, 3118). I jämförelse med Svensson (1992) är dessa effekter mer begränsade. Skillnaden mot Svenssons uppmätta inverkan på 0,8% per grad lutning kan dels bero på att olika gödselmedel använts i de två undersökningarna, dels bero på att Svensson (1992) arbetade i laboratoriemiljö med en ensam matarvals. Inverkan av maskinens transportsystem och fältinducerade rörelser kan ha en hämmande inverkan på lutningseffekterna.

Även om lutningen medför en effekt på massflödet, vilket för denna typ av spridare framgår av sidoförhållandet, så innebär detta inte med naturnödvändighet att variationskoefficienten påverkas.

Det förefaller dock logiskt att variationskoefficienten förändras med typfallet. På plant underlag strävar granulatet efter att falla vinkelrätt mot underlaget. På lutande underlag strävar granulatet fortfarande efter att falla i tyngdaccelerationens riktning. I typfall 2 innebär detta en liten sidoförflyttning av granulatduschen (parallellt med rampen), vilket kan öka variationskoefficienten.

Även i typfall 3 (lutning relativt marken) kommer samtliga granulduschar att ha en horisontell hastighetskomposant parallellt med rampen, vilken kommer att medföra en sidoförflyttning (precis som i typfall 2). I typfall 3 kommer dock flygtiden för granulerna i en dusch att bero på var på bommen utloppsmunstycket sitter. Granulerna på den upplyfta sidan av rampen bör ha störst sidoförflyttning. Denna asymmetriska sidoförflyttning av granulduscharna kan förväntas öka variationskoefficienten ytterligare jämfört med typfall 2.

Av tabell 1 framgår att både variationskoefficienten och sidoförhållandet (materialmängden på bergsidan) ökade. Denna ökning av sidoförhållandet talar mot den horisontella förflyttningen av material mot dalsidan. I detta läge förväntades sidoförhållandet minska ytterligare. En förklaring till denna anomali kan ligga i att mängden material som studsar ut ur kärlet kan vara beroende av rampens höjd över uppsamlingskärnen.

Den provade fallspridaren hade uppåtvända spridarplattor i syfte att minska den vertikala hastigheten på granulatet och därmed minimera mängden material som studsar ut ur kärnen. Alla granuler har dock en horisontell hastighet skapad av studsens mot spridarplattan. Denna hastighet avtar med flygtiden. Om utloppsmunstycket sitter nära kärlet är denna hastighet hög. I typfall 3 kan de låga munstyckena på dalsidan ha bidragit till att material studsade ut ur dessa kärn. Samtidigt är munstycken på bergsidan förhöjda, vilket ökar bantiden och därmed minskar granulatets horisontella hastighet. Materialmängden som studsar ut ur kärnen minskar. Denna kombinerade effekt kan bidra till att sidoförhållandet ökar istället för minskar som förväntat.

Slutsatsen av ovanstående resonemang är att resultaten från typfall 3 för fallspridaren bör användas med viss försiktighet. I en förnyad provning bör kärn som minimerar materialstudsarna ur kärnen användas.

Det förtjänar att påpekas att den relativa förändringen av variationskoefficient inte får glömmas bort. Det kan förefalla gement att klaga över en spridare som visar så pass bra resultat som TIVE 812 GD, men den relativa förändringen av variationskoefficienten är i 35% typfall 2.

I just detta fall är kanske den relativa förändringen inte rättvisande, men en ökad grundvariation (typfall 1) kan medföra att gränsen för det acceptabla passeras vid lutningar. Exempel på detta har visats bl.a av Weiste (1988), refererad ovan, vars spridare visade på en relativ förändring av variationskoefficienten på 195%. I detta fall förändrades spridningsjämnheten från en acceptabel nivå (8%) till en oacceptabel nivå (23,6%) vid en lutning av 4° relativt marken (typfall 3).

6.2 Försök med kastspridare

Resultatet av försöken med kastspridare ger ett osäkert intryck. För det första återfinns en klar nivåskillnad i variationskoefficient mellan Alnarpsförsöket och det begränsade Uppsalaförsöket. Alnarpsförsöket skiljer dessutom i nivå jämfört med de inomhusförsök med samma maskin som redovisas av Bodén (1993). Dessa försök ligger mera i nivå med Uppsalaförsöket. En förklaring till nivåskillnaderna mellan Alnarpsförsöket och övriga nämnda försök kan ligga i de vindförhållanden som rådde under försöket.

Massflödesförändringen per grad lutning på basis av sidoförhållandet var i Alnarpsförsöket 0,9%. Detta ligger över de av Bodén (1993) redovisade 0,2-0,7% per grad för massflödesmätningar på samma maskin. Bodéns (1993) resultat var signifikanta och stöds trots allt av Alnarpsförsöket.

Det bör påpekas att ovanstående resonemang baserar sig på genomsnittsvärdena av de uppmätta spridningsbilderna i Alnarpsförsöket. Sidoförhållandena för 0° lutning (typfall 1) och 3,8° lutning parallellt med marken (typfall 2) varierade mellan 51,6-56,0% resp. 49,0-54,2%. Det förefaller som om variationerna ligger i olika, men till stora delar överlappande, intervall. På grund av intervallens bredd och närheten mellan deras medelvärden, kan långtgående slutsatser ej dras från detta försök.

I jämförelse med en knastvalsmaskin, vars knastvalsar matar ut till var sin ramphalva, finns det dock skäl att anta att en eventuell variation i sidoförhållande hos en kastspridare inte utgörs av en stegfunktion. Detta kan minska de lokala effekterna av ojämn gödselfördelning.

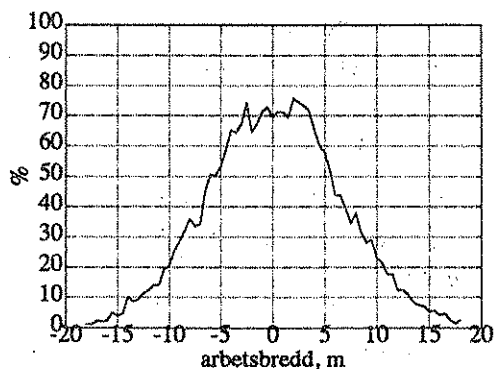
Variationskoefficienten steg från 18,9% till 20,1% vid en lutning av 3,8° parallellt med marken (typfall 2) i Alnarpsförsöket. Den relativa förändringen av variationskoefficienten är c:a 6%. Detta är en acceptabel förändring. Dock kan utgångsvärdet knappast betraktas som acceptabelt med tanke på mätmetoden. Nilsson (1986) rapporterar en genomsnittlig variationskoefficient på spridare i praktisk drift på ca 25%. Nilssons (1986) resultat i kombination med den låga repeterbarheten mellan spridningsbilder i Alnarpsförsöken tyder på att detta försök inte är representativt för en provningssituation.

En jämförelse med Bodéns (1993) lutningsförsök av Bogballe E-1000 kan här vara av intresse. Bodén använde sig av samma gödselmedel och siktade mot samma giva (PK 7-25, 250 kg/ha). I dessa försök uppmättes en variationskoefficient på 6,8% för 0° lutning på horisontellt underlag (typfall 1), 6,7% för 3° lutning på horisontellt underlag (typfall 3) samt 8,1% för 5° lutning på horisontellt underlag (typfall 3). Den relativa förändringen av variationskoefficienten för en lutning på 5° är 19%.

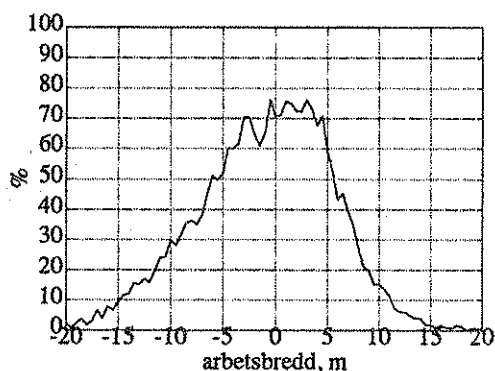
Den genomsnittliga massflödesförändringen beräknad på basis av sidoförhållandet i Bodéns (1993) försök var 2,5% per grad lutning. Effekten får betraktas som tydlig, vilket framgår av den grafiska framställningen i figur 10.

Uppsala-försöket med Bogballe D 600 skall i detta sammanhang betraktas som ett kontrollförsök vars syfte främst är att relatera försöksmetoderna mellan Alnarpsförsöket och Uppsala-försöken till varandra. Av figur 8 och 9 framgår dock att sidoförhållandena förefaller oförändrade som funktion av lutning parallellt med underlaget (typfall 2).

Denna iakttagelse strider mot Bodéns (1993) resultat. Dessa experiment gällde dock typfall 3 (lutande spridare, horisontellt underlag). Beräkningar av Loftäng (1993) kan ge en ledtråd till motsägelserna mellan Uppsala-försöket med kastspridare och Bodéns (1993) resultat.

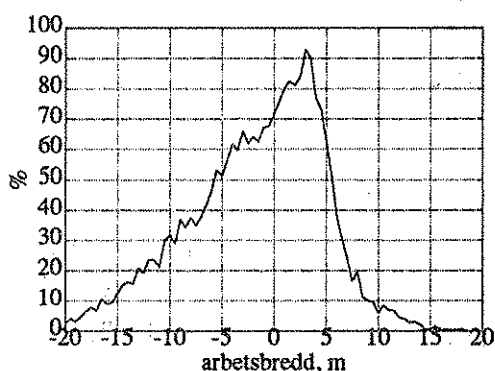


Horisontell maskin. Variationskoefficient: 6,8%



Lutning: 3° i sidled relativt horisontalplanet.

Variationskoefficient: 6,7%



Lutning: 5° i sidled relativt horisontalplanet.

Variationskoefficient: 8,1%

Figur 10. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000 vid en giva på 250 kg/ha. Källa: Bodén (1993).

Loftäng (1993) redovisar två beräkningar av granulens kastlängd. I den första beräknas kastlängden som funktion av den roterande skivans lutning samt höjd över den horisontella marken (typfall 3). Ett beräkningsexempel visar att om skivans höjd över marken är 85 cm och skivans vinkel 10° så kommer den uppåtriktade kastparabeln att öka kastlängden med 9,4 m jämfört med typfall 1 (0° lutning). Den nedåtriktade kastparabeln kommer att minska kastlängden med 4,5 m jämfört med typfall 1.

Om istället typfall 2 (lutande spridare på lutande underlag) ansätts redovisar Loftäng en ökad kastlängd på 15 cm utför sluttningen och en minskad kastlängd på 15 cm uppför sluttning vid i övrigt samma förutsättningar. Detta innebär att eventuella förändringar vid 5° lutning av typfall 2 kan passera obemärkt då spridningsbilder mäts med en upplösning på 0,5 m. Det bör dock påpekas att Loftängs (1993) enkla modell ej tar hänsyn till eventuella förändringar av nedsläppspunkten eller inverkan av luftmotstånd.

6.3 Provnings- och typgodkännandeförfarande

Av detta arbete och arbetena redovisade av Bodén (1993) och Loftäng (1993) framgår att lutningar påverkar arbetsresultatet vid konstgödselspridning. Detta stöds också av litteraturen. Av tidigare arbeten framgår också att det är främst sidolutningar som påverkar arbetsresultatet.

Resultatet av ett försök inom detta område är beroende av provningsmetoden. Provnings- i syfte att utröna effekter av lutningar på massflöde och spridningsbild måste utföras med stor noggrannhet om resultaten inte skall drunkna i bruset av olika störningar. Skillnaderna mellan massflödesmätningarna i Bodéns (1993) och Svenssons (1992) arbeten rörande massflödesförändringar som funktion av lutning, visar att det kan krävas ett mycket stort antal upprepningar av metoder med låg mätningnoggrannhet för att nå samma kvalitativa resultat som laboratoriemässiga mätningar.

Detta arbete visar också att en god uppfattning om massflödesförändringar som funktion av lutning kan nås genom att beräkna spridningsbildens sidoförhållanden.

Vid spridning på lutande mark kan två fall urskiljas. I det ena fallet sprids gödseln på ett underlag som lutar relativt horisontalplanet men är parallellt med spridaren (typfall 2). I det andra fallet sprids gödseln av en lutande maskin på ett horisontellt underlag (typfall 3). Det senare fallet uppkommer om spridarens/traktors hjul sjunker ned i en fördjupning typ gammal öppningsfåra eller om ekipaget kör precis i foten av en sluttning varvid halva spridningsbilden sprids över en yta som motsvarar typfall 3.

Av detta arbete samt av Bodéns (1993) och Loftängs (1993) arbeten framgår klart att det är typfall 3 som ger de största effekterna på spridningsbild och sidoförhållanden, varför typfall 3 ter sig enklast att få ett utslagsgivande resultat utav.

En kommentar av mer praktisk natur är att typfall 3 är den enda typ av lutningsprovning som låter sig genomföras för en rimlig kostnad. Författaren veterligt finns det ingen provningshall i Europa som kan klara typfall 2.

Typfall 3 kan för kastspridare dessutom jämföras med lutningar framåt/bakåt, då tillgängliga forskningsarbeten entydigt pekar på att kastspridaren kastar materialet i en cirkelbåge. Effekterna i framåt/bakåt-led bör därmed bli jämförbara med effekterna i sidled.

I ett fall skiljer sig dock framåt/bakåt-lutningar från sidolutningar. Hos fallspridare med knastvalsutmatningar vars valsar är orienterade vinkelrätt mot färdriktningen (typ TIVE 4012) kommer massflödesförändringar att uppträda vid framåt/bakåt-lutningar. Dessa förändringar uppträder ej vid sidolutningar.

En lämplig lutning för denna typ av provning är 5° då denna lutning är möjlig att klara i en ordinär provningshall, samtidigt som lutningen kan ge ett tydligt utslag i typfall 3. Mängden material som studsar ut ur kärnen som funktion av munstyckshöjd (och därmed position på rampen i typfall 3) är väsentlig att utreda ytterligare.

Uppsamlingsytan bör vara c:a $0,5 \times 0,5$ m, då detta är en lämplig yta ur biologisk synpunkt (Bergström, pers. medd.). Kärn med längden 0,25 m vinkelrätt mot kördraget är också utmärkta att använda, då denna halvering av ursprungligen tänkt yta kan utnyttjas till att söka systematiska variationer i spridningsbilden med hjälp av autokorrelationsfunktioner.

Utvärderingen av lutningseffekterna bör ske genom att beräkna de sammanlagda spridningsbildernas variationskoefficient samt sidoförhållandet hos den enskilda spridningsbilden.

Ur sidoförhållandet kan massflödets lutningsberoende beräknas. Ur variationskoefficienten fås den lokala variationen i gödselgiva. Kravnivåerna bör lämpligen ha två steg; ett absolut och ett relativt. Den absoluta kravnivån innebär att variationskoefficienten (sidoförhållandet) ej får överstiga $X_A\%$. Den relativa kravnivån innebär att variationskoefficientens (sidoförhållandets) relativa förändring ej får överstiga $X_B\%$. Syftet med den relativa kravnivån är att kunna peka på maskiner som är ensidigt optimerade för en viss typ av förhållanden (exempelvis spridning på horisontellt underlag).

En provning av denna typ skulle kunna utföras med idag befintlig utrustning till en rörlig kostnad av 1500-8000 SEK per maskin beroende på spridartyp (Nilsson, pers. medd.).

7 SLUTSATSER

Av detta arbete kan följande slutsatser dras:

1. Spridningsbilden för lutande spridare bör mätas i ett typgodkännandeförfarande.
2. Utvärderingen bör ske i form av variationskoefficient och sidoförhållande.
3. Kravnivåerna bör omfatta både en absolut nivå samt den förändring i precision som lutande spridare (typfall 3) undergår jämfört med en horisontell spridare (typfall 0).

8 REFERENSER

Beverloo, W.A., Leniger, H.A. & van de Velde, J. 1960. The Flow of Granular Solids Through Orifices. Chemical Engineering Science 15(3-4), 260-269.

- Bodén, A. 1993. Inverkan av lutningar på massflöde och spridningsbild hos konstgödselspridare. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för lantbruksteknik. Rapport nr 177. Uppsala.
- Bull, D.A. & Crowe, J.M. 1985. The On Farm Application of Fertilisers. Paper read before The Fertiliser Society in London on 29th November 1985. Proceedings No. 241. London.
- International Organisation for Standardization. 1983. ISO Standards Handbook 13. Agricultural machinery. 1st ed. Switzerland.
- Kohsiek, H. 1970. Untersuchungen über das Ausfliessen von feinkörnigen Stoffen aus Behältern für Dünge- und Pflanzenschutzgeräte. Forstschrittsberichte der Verein deutscher Ingenieure Zeitschriften, Reihe 14, nr 10. Düsseldorf.
- Kohsiek, H. 1968. Betrachtungen über das Befüllen und Entleeren von Vorratsbehältern für Schüttgüter. Grundle. Landtechnik, 18(1968)5, s. 191-194.
- Kvapil, R. 1959. Theorie der Schüttgutbewegung, Auslaufverhalten von Schüttgütern in Bunkern. Berlin.
- Loftäng, L. 1993. Influence of Rough Operating Surface and Sloping Ground on Distribution Pattern and Mass Flow From Granular Fertilizer Spreaders. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för lantbruksteknik. Inst. medd. 93:06. Uppsala.
- Nedderman, R.M., Tüzün, U., Savage, S.B. & Houlsby, G.T. 1982. The Flow of Granular Materials - I: Discharge Rates from Hoppers. Chemical Engineering Science, Vol. 37, No. 11, pp 1597-1609.
- Nilsson, J. 1986. Konstgödselspridarnas funktion och spridningsjämnhet under praktiska förhållanden. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för lantbruksteknik. Inst. medd. 86:01. Uppsala.
- Patterson, D.E. 1964. The Effect of Slope on the Transverse Distribution Pattern of Fertilizer Broadcasters. Journal of Agricultural Engineering Research, 9(1964):2, p. 169-173.
- Patterson, D.E. & Reece, A.R. 1962. The Theory of the Centrifugal Distributor. I: Motion on the Disc, near - centre feed. Journal of Agricultural Engineering Research, 7(3), p. 232-240.
- Rühle, K. 1975. Die Verteilgenauigkeit pneumatischen Mineraldüngerstreuer. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) KTBL-Schrift 198. Münster-Hiltrup, Westfalen.
- Savage, S.B., Nedderman, R.M., Tüzün, U. & Houlsby, G.T. 1983. The Flow of Granular Materials - III: Rapid Shear Flows. Chemical Engineering Science, Vol. 38, No. 2, pp 189-195.

Statens maskinprovningar. 1987. Konstgödselspridare Ylö Exakt 1000. Meddelande 3118.

Statens maskinprovningar. 1987. Konstgödselspridare Överum Tive Jet 4018. Meddelande 3075.

Statens maskinprovningar. 1987. Konstgödselspridare Överum Tive Jet 812 GD. Meddelande 3074.

Statens maskinprovningar. 1986. Konstgödselspridare AERO typ 1112. Meddelande 3024.

Svensson, J.E.T. 1990a. Pneumatic Fertilizer Spreaders - a Review of the Literature. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för lantbruksteknik. Rapport 138. Uppsala.

Svensson, J.E.T. 1990b. Granular Massflow From A Fertilizer Feeder. Paper presented at the International Conference on Agricultural Engineering 1990. Berlin.

Svensson, J.E.T. 1992. Mass Flow From the Studded Roller Feeder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för lantbruksteknik. Rapport 156. Uppsala.

Tüzün, U., Houlsby, G.T., Nedderman, R.M. & Savage, S.B. 1982. The Flow of Granular Materials - II: Velocity Distributions In SLOW Flow. Chemical Engineering Science, Vol. 37, No. 12, pp 1691-1709.

Weiste, H. 1988. Entwicklung eines neuen Endverteilers für pneumatische Düngerstreuer. Grundl. Lanttechnik Bd. 38(1988) Nr. 2, s. 42-48.

Personliga meddelanden från:

Tommy Bergström, Inst. för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.

Johan Nilsson, Statens maskinprovningar, Alnarp.